

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

①1 N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 756 048

②1 N° d'enregistrement national : 96 13992

⑤1 Int Cl⁸ : G 01 R 17/10, G 01 B 7/00

①2

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 15.11.96.

③0 Priorité :

④3 Date de la mise à disposition du public de la
demande : 22.05.98 Bulletin 98/21.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule.*

⑥0 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

⑦1 Demandeur(s) : NANOTEC INGENIERIE SOCIETE A
RESPONSABILITE LIMITEE — FR.

⑦2 Inventeur(s) : ROZIERE DIDIER et OSSART
FREDERIC.

⑦3 Titulaire(s) :

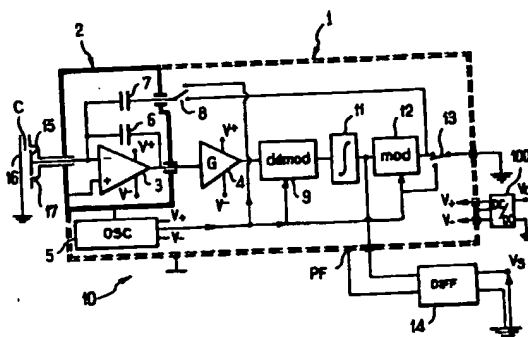
⑦4 Mandataire : PONTET ET ALLANO SARL.

⑤4 PONT DE MESURE CAPACITIF FLOTTANT ET SYSTEME DE MESURE MULTI-CAPACITIF ASSOCIE.

⑤7 Pont de mesure capacitif flottant (10) comprenant un capteur capacitif (C) comportant une électrode de mesure (15), une électrode de garde (17) entourant ladite électrode de mesure (15), et une électrode de terre (16), un amplificateur de charge (3), une chaîne de traitement du signal de sortie de l'amplificateur de charge (3, 23, 33, 43) pour délivrer un signal de mesure capacitif par rapport à une référence de terre, et un dispositif d'alimentation (100) de l'amplificateur de charge (3) par rapport au potentiel flottant (PF) de l'électrode de garde (17).

L'amplificateur de charge (3) comporte en outre un condensateur d'excitation (7) relié d'une part, à la première entrée (-) et d'autre part, à un dispositif d'excitation (5, 8, 13) pour produire un signal d'excitation à une fréquence prédéterminée. L'amplificateur de charge (3) et les condensateurs de contre-réaction (6) et d'excitation (7) sont inclus dans une garde totale (2) reliée à l'électrode de garde (17).

Utilisation, notamment, pour des écartomètres ou des capteurs d'épaisseur.



FR 2 756 048 - A1



- 1 -

"Pont de mesure capacitif flottant et système de mesure
multi-capacitif associé"

DESCRIPTION

La présente invention concerne un pont de mesure
5 capacitif flottant. Elle vise également un système de
mesure multi-capacitif réalisé à partir de ponts de mesure
selon l'invention.

Dans les systèmes de mesure capacitive, pour garantir
des caractéristiques satisfaisantes de précision, de
10 dynamique et de résolution des capteurs, il est essentiel
de minimiser l'influence de capacités parasites liées à
l'amplificateur de charge placé en aval du capteur
capacitif et aux connexions d'entrée. Une solution connue
consiste à ne pas référencer l'amplificateur de charge à
15 la terre, mais à l'alimenter par une source de tension
continue flottante à haut isolement électrique résistif et
capacitif, par rapport à la terre, l'ensemble étant inclus
dans une garde portée au potentiel de la garde du capteur
comme l'enseigne la demande de brevet français n°86 17898.

20 Ce document divulgue ainsi une chaîne de mesure
dimensionnelle capacitive dans laquelle l'amplificateur de
charge n'est pas référencé à la terre mais alimenté par
une source de tension continue flottante à haut isolement
électrique résistif et capacitif par rapport à la terre,
25 l'ensemble étant inclus dans une garde portée au potentiel
de la garde du capteur capacitif. Cette chaîne de mesure
capacitive comprend un transformateur d'alimentation dont
les enroulements sont des conducteurs coaxiaux. Le
conducteur de l'enroulement primaire de ce transformateur
30 est connecté à la sortie d'un générateur sinusoïdal.

Par ailleurs, le document FR 2640373 décrit une chaîne
de mesure dimensionnelle capacitive à sortie linéaire.
Cette chaîne de mesure comprend une source de tension de
polarisation mettant en oeuvre un transformateur triaxial.
35 Le circuit de mesure de cette chaîne comprend un
amplificateur de charge, un amplificateur de niveau, un
démodulateur synchrone et un intégrateur. Le secondaire du
transformateur triaxial est disposé entre la capacité à

mesurer et l'amplificateur de charge, le primaire de ce transformateur triaxial étant relié à un modulateur synchrone. L'entrée négative de l'amplificateur de charge est soumise à une tension alternative de référence à travers un condensateur d'excitation. La source de tension de référence, le modulateur synchrone et le démodulateur synchrone sont synchronisés par une même base de temps.

Les ponts capacitifs divulgués ont cependant l'inconvénient de nécessiter la mise en oeuvre d'un transformateur triaxial d'isolement, ce qui conduit à des coûts élevés et constitue un obstacle à toute intégration de l'électronique au sein d'un dispositif capteur.

Le but de l'invention est de remédier à ces inconvénients en proposant un pont de mesure capacitif flottant, qui permette une intégration aisée de l'électronique, tout étant de réalisation moins coûteuse.

Il s'agit d'un pont de mesure capacitif flottant comprenant :

- un capteur capacitif comportant une première électrode de mesure, une électrode de garde entourant ladite électrode de mesure, et une électrode de terre ,
- un amplificateur de charge ayant une première entrée (-) reliée à l'électrode de mesure et une seconde entrée (+) reliée à l'électrode de garde, et comportant un condensateur de contre-réaction disposé entre sa première entrée et sa sortie,
- des moyens pour traiter le signal de sortie de l'amplificateur de charge, en vue de délivrer un signal de mesure capacitive par rapport à une référence de terre, et
- des moyens pour alimenter ledit amplificateur de charge par rapport au potentiel flottant de l'électrode de garde.

Suivant l'invention, l'amplificateur de charge comporte en outre un condensateur d'excitation relié d'une part à sa première entrée (-) et d'autre part à des moyens pour produire un signal d'excitation à une fréquence

prédéterminée, et l'amplificateur de charge et les condensateurs de contre-réaction et d'excitation sont inclus dans une garde totale reliée à l'électrode de garde.

On a ainsi obtenu, pour un pont capacitif flottant
5 selon l'invention, une consommation d'environ 2,5 mA sous une tension d'alimentation de 30 V avec une fréquence de porteuse égale à 4 kHz. Il devient même possible de réduire la tension d'alimentation de l'amplificateur de charge à 15 V, s'il est prévu une protection de celui-ci.
10 Cette consommation peut ainsi atteindre 0,2 mA sous une tension de $\pm 2,5$ V. Il devient alors possible d'intégrer l'électronique de conditionnement au sein du capteur.

Dans un pont flottant selon l'invention, les moyens de traitement comprennent de préférence :

- 15 - des moyens pour amplifier le signal de sortie de l'amplificateur de charge,
- des moyens pour démoduler le signal de sortie amplifié en synchronisme avec les moyens d'excitation,
- 20 - et des moyens pour intégrer le signal démodulé en vue de délivrer un signal de mesure.

Ces moyens de traitement comprennent en outre des moyens d'amplification différentielle insérés en un point
quelconque de la chaîne de traitement, et ayant d'une
25 part, leur entrée référencée au potentiel flottant, et d'autre part, leur sortie référencée à la terre.

Les moyens d'excitation comprennent d'une manière générale :

- des moyens oscillateurs pour délivrer une tension
30 d'oscillation à une fréquence prédéterminée,
- des premiers moyens commutateurs pour appliquer sur l'électrode de mesure via le condensateur d'excitation, soit une tension de modulation issue des moyens modulateurs synchrones, soit la tension
35 d'oscillation issue des moyens oscillateurs, et
- des seconds moyens commutateurs pour appliquer sur la garde au potentiel flottant, soit la tension d'oscillation, soit la tension de modulation.

Les premiers et seconds moyens commutateurs coopèrent pour procurer l'une ou l'autre des mesures suivantes :

- une mesure représentative de l'inverse d'une capacité, lorsque le potentiel flottant est à la tension de modulation, et
- une mesure représentative d'une capacité, lorsque le potentiel flottant est à la tension d'oscillation.

Ainsi, lorsque le pont capacitif selon l'invention est prévu pour la mesure d'une capacité, les moyens oscillateurs pilotent le potentiel flottant. Lorsque le pont capacitif est prévu pour la mesure de l'inverse d'une capacité, notamment pour la mesure de distance avec un capteur capacitif, des moyens modulateurs placés en aval des moyens démodulateurs et de moyens intégrateurs placés en cascade, assurent le pilotage du potentiel flottant. Ces moyens modulateurs sont synchronisés par les moyens oscillateurs. Lorsque le pont capacitif selon l'invention est prévu pour réaliser les deux types de mesure précitées, il comprend alors des moyens commutateurs pour appliquer à la garde un potentiel flottant issu, soit des moyens oscillateurs pour la mesure d'une capacité, soit des moyens modulateurs pour la mesure de l'inverse d'une capacité.

Dans une première forme de réalisation correspondant à un pont capacitif entièrement flottant, la garde contient l'amplificateur de charge, des moyens d'amplification, les moyens de démodulation, et des moyens intégrateurs en aval dudit amplificateur de charge, et les moyens d'amplification différentielle ont leur première entrée différentielle reliée à la sortie desdits moyens intégrateurs. Les moyens oscillateurs et les moyens modulateurs sont de préférence inclus dans la garde. Le pont capacitif flottant comprend en outre un condensateur d'excitation disposé entre l'entrée négative de l'amplificateur de charge et la sortie des moyens générateurs du potentiel flottant, et des moyens commutateurs pour relier le condensateur d'excitation, soit aux moyens oscillateurs, soit aux moyens modulateurs.

Avec un pont capacitif de ce type, on a obtenu expérimentalement une consommation d'environ 20 mA sous une tension d'alimentation de 30 V, avec une porteuse carrée de 4 kHz. Pour une porteuse sinusoïdale de 50 kHz, la consommation électrique est d'environ 40 mA. Lorsque la fréquence de la porteuse atteint 1,2 Mhz, la consommation électrique n'est que d'environ 120 mA.

Dans une seconde forme de réalisation correspondant à un pont capacitif semi-flottant, la garde contient l'amplificateur de charge, des moyens d'amplification et les moyens de démodulation en aval dudit amplificateur de charge, les moyens d'amplification différentielle ont leur première entrée différentielle directement reliée à la sortie desdits moyens démodulateurs, et ce pont capacitif comprend en outre, en aval desdits moyens d'amplification différentielle, des moyens intégrateurs à la sortie desquels est prélevée la tension de sortie du pont capacitif. Dans ce mode de réalisation, les moyens oscillateurs sont situés à l'extérieur de la garde.

Dans une troisième forme de réalisation correspondant à un pont capacitif à faible consommation d'énergie, la garde contient l'amplificateur de charge et des moyens d'amplification en aval de celui-ci, les moyens d'amplification différentielle ont leur première entrée différentielle directement reliée à la sortie desdits moyens d'amplification, et ce pont capacitif comprend en outre, en aval desdits moyens d'amplification différentielle, les moyens démodulateurs et des moyens intégrateurs à la sortie desquels est prélevée la tension de sortie dudit pont capacitif.

Dans une quatrième forme de réalisation correspondant à une consommation d'énergie in situ, la garde contient l'amplificateur de charge, les moyens d'amplification différentielle ont leur première entrée différentielle directement reliée à la sortie dudit amplificateur de charge, et ce procédé comprend en outre, en aval desdits moyens d'amplification différentielle, des moyens d'amplification, les moyens démodulateurs et des moyens

intégrateurs à la sortie desquels est prélevée la tension de sortie du pont capacitif.

Suivant un autre aspect de l'invention, il est proposé un système de mesure multi-capacitif réalisé à partir d'un ensemble de ponts flottants selon l'invention, comprenant un ensemble de capteurs capacitifs associés à un ensemble d'amplificateurs de charge. Ce système comprend en outre une chaîne de traitement unique et des moyens multiplexeurs ayant leurs entrées multiples reliées en sortie desdits amplificateurs de charge et leur sortie reliée en entrée de ladite chaîne de traitement.

On peut également prévoir un système de mesure multi-capacitif réalisé à partir d'un pont flottant selon l'invention, comprenant un ensemble de capteurs capacitifs, caractérisé en ce qu'il comprend en outre un unique amplificateur de charge et sa chaîne de traitement associée, et des moyens multiplexeurs ayant leurs entrées multiples reliées en sortie desdits capteurs capacitifs et leur sortie reliée en entrée dudit amplificateur de charge, les électrodes respectives desdits capteurs capacitifs étant entourées d'une électrode de garde commune.

D'autres particularités et avantages de l'invention apparaîtront encore dans la description ci-après. Aux dessins annexés donnés à titre d'exemples non limitatifs:

- la figure 1 est un schéma d'un pont capacitif entièrement flottant selon l'invention;
- la figure 2 est un schéma d'un pont capacitif semi-flottant selon l'invention;;
- la figure 3 est un schéma d'un pont capacitif flottant à faible consommation selon l'invention;
- la figure 4 est un schéma d'un pont capacitif flottant minimum selon l'invention;
- la figure 5 illustre un exemple de réalisation d'une alimentation flottante mise en oeuvre dans un pont capacitif flottant selon l'invention; et
- la figure 6 est un schéma d'un système de mesure multi-capacitif selon l'invention réalisé sous la

forme d'un circuit hybride associant des composants analogiques et un circuit numérique.

On va maintenant décrire plusieurs exemples de réalisation d'un pont capacitif flottant selon l'invention, en référence aux figures précitées.

Dans un premier exemple de réalisation représenté en figure 1, un pont capacitif entièrement flottant comprend une partie flottante 1 dans une garde 2 et un amplificateur différentiel 14 délivrant une tension de sortie V_s . La partie flottante 1 comprend un amplificateur 3 monté en pont capacitif, ayant son entrée négative reliée à une première électrode 15, dite électrode de mesure, (d'une capacité à mesurer C dont l'autre électrode 16 est reliée à une masse de référence), et son entrée positive reliée à une garde totale 2 qui présente un potentiel flottant par rapport à la terre et est reliée électriquement, par exemple par une gaine coaxiale, à une électrode de garde 17 entourant l'électrode de mesure 15. La sortie de l'amplificateur opérationnel 3 est reliée d'une part, à son entrée négative à travers un condensateur 6 selon un schéma classique de pont capacitif, et d'autre part, à l'entrée d'un amplificateur 4 en amont successivement d'un démodulateur 9, d'un intégrateur 11 et d'un modulateur 12. Le démodulateur 9 et le modulateur 12 sont commandés par un oscillateur 5 également présent dans la garde 2 et référencé à la terre. Les différents éléments référencés au potentiel flottant PF sont alimentés par une unité de conversion continu/continu 100 disposée à l'extérieur de la partie flottante 1, cette unité recevant par exemple en entrée une tension V_{cc} par rapport à la masse de référence (la terre) et délivrant, en mode flottant, une tension d'alimentation continue positive V_+ et une tension d'alimentation continue V_- par rapport au potentiel flottant PF de l'enceinte. L'amplificateur différentiel 14 extérieur à la partie flottante 1 reçoit en entrée d'une part, le signal de sortie de l'intégrateur 11, et d'autre part, le potentiel flottant PF. Cet amplificateur

différentiel 14 doit assurer une excellente réjection de mode de commun à la fréquence d'oscillation.

Des commutateurs 8, 13 sont également prévus au sein de la partie flottante 1 pour appliquer à l'entrée négative de l'amplificateur de charge 3 à travers un condensateur d'excitation 7, soit la tension de sortie de l'oscillateur 5 afin d'obtenir une tension de sortie image de l'inverse de la capacité C, soit la tension de sortie du modulateur 12 afin d'obtenir une tension de sortie image de la capacité C.

Dans un second exemple de réalisation selon l'invention, correspondant à un pont capacitif semi-flottant 20, en référence à la figure 2, la partie flottante 27 inclut à l'intérieur d'une garde totale 22, un amplificateur opérationnel 23 dont l'entrée négative est reliée à une électrode de mesure 15 de la capacité à mesurer C et dont l'entrée positive est reliée à la garde totale 22 auquel est également reliée une électrode de garde 17 de la capacité à mesurer C, un condensateur 26 étant classiquement disposé entre la sortie et l'entrée négative de cet amplificateur opérationnel. Le signal de sortie de l'amplificateur opérationnel 23 est appliqué en entrée d'un amplificateur 24 dont la sortie est reliée en entrée d'un démodulateur 29 dans la partie flottante 27. La sortie du démodulateur 29 est appliquée, à l'extérieur de la partie flottante 27, à une entrée d'un amplificateur différentiel 28 dont l'autre entrée est au potentiel PF de la partie flottante 27. La sortie de l'amplificateur différentiel 28 est appliquée en entrée d'un intégrateur 21 à la sortie duquel est prélevée la sortie V_s du pont capacitif 20. La sortie de l'intégrateur 21 est également appliquée en entrée d'un modulateur 212 dont la sortie peut être appliquée, via un commutateur 250, à la partie flottante 27 pour déterminer le potentiel flottant PF lorsque le pont est utilisé pour effectuer des mesures représentatives de l'inverse de la capacité. Un oscillateur 25 situé à l'extérieur de la partie flottante 27, commande à la fois le modulateur 29 et le démodulateur

212. La tension de sortie de l'oscillateur 25 peut également être appliquée à la partie flottante 27 au moyen du commutateur 250, lorsque le pont capacitif 20 est prévu pour effectuer des mesures représentatives de la capacité à mesurer.

Un commutateur 206 est également prévu au sein de la partie flottante 27 pour appliquer à l'entrée négative de l'amplificateur de charge 23 à travers un condensateur d'excitation 205, soit la tension de sortie de l'oscillateur 25 fournie en mode flottant par un amplificateur différentiel 204 afin d'obtenir une tension de sortie image de l'inverse de la capacité C, soit la tension de sortie du modulateur 212 fournie en mode flottant par un amplificateur différentiel 203 afin d'obtenir une tension de sortie image de la capacité C.

Comme dans le premier mode de réalisation précédemment décrit, le pont capacitif 20 est doté d'une unité de conversion continu/continu 100 pour fournir à l'intérieur de la garde 22 les tensions continues nécessaires à l'alimentation des composants électroniques, notamment l'amplificateur de charge 23, l'amplificateur de gain 24 et le démodulateur 29.

Le pont capacitif semi-flottant 20 qui vient d'être décrit, dans lequel seuls l'amplificateur opérationnel, l'amplificateur et le démodulateur sont placés dans la partie flottante 27, est particulièrement adapté lorsqu'il est nécessaire de minimiser la consommation d'énergie électrique dans la garde.

Dans un troisième exemple de réalisation correspondant à un pont capacitif flottant 30 à faible consommation en référence à la figure 3, seuls l'amplificateur de charge 33 et l'amplificateur 34 sont inclus dans la partie flottante 37 et sont alimentés en mode flottant par une unité de conversion continue 100. Seuls l'amplificateur de charge 33 et ses deux condensateurs de contre-réaction 36 et d'excitation 305 associés sont pourvus d'une garde totale 32. Les autres composants du pont capacitif sont extérieurs à la partie flottante 37 et référencés à la

terre. La garde totale 32 inclut l'amplificateur de charge 33 qui a son entrée négative reliée à une électrode 15 de la capacité à mesurer C et son entrée positive directement reliée à la garde et ainsi placée au potentiel flottant PF, sa sortie étant reliée à son entrée négative par le condensateur de contre-réaction 36 suivant un schéma classique. La partie flottante 37 comprend également l'amplificateur de tension 34 dont la sortie est reliée à une entrée d'un amplificateur différentiel 38 dont l'autre entrée est reliée au potentiel flottant PF. Cet amplificateur différentiel 38, référencé par rapport à la terre, délivre un signal de sortie qui est appliqué à un démodulateur 39 en amont d'un intégrateur 31 et d'un modulateur 312 dont la tension de sortie peut être appliquée, selon l'état d'un commutateur 350, à la garde 37 comme potentiel flottant, dans le cas d'une mesure représentative de l'inverse de la capacité. Le démodulateur 39 et le modulateur 312 sont tous deux synchronisés par un oscillateur 35 référencé à la terre. La tension de sortie de l'oscillateur 35 peut également être appliquée, via le commutateur 350, à la masse de la partie flottante 37 pour déterminer le potentiel flottant PF. Un second commutateur 306 permet d'appliquer à l'entrée négative de l'amplificateur de charge 33, à travers le condensateur d'excitation 305 et un amplificateur différentiel 303 inclus dans la partie flottante 37, soit la tension de sortie de l'oscillateur 35 dans le cas d'une mesure représentative de l'inverse de la capacité C, soit la tension de sortie du modulateur 312 dans le cas d'une mesure représentative de la capacité C.

Ce mode de réalisation d'un pont capacitif flottant est particulièrement approprié lorsqu'il s'agit de réduire considérablement l'énergie électrique consommée dans la partie flottante. En effet, si l'entrée de l'amplificateur opérationnel est protégée, il devient possible de diminuer la tension d'alimentation et par conséquent de réduire la consommation in situ. Le mode commun de l'amplificateur

- 11 -

différentiel 38 engendre cependant une erreur supplémentaire sur la mesure.

Dans un quatrième mode de réalisation d'un pont capacitif flottant 40 selon l'invention, en référence à la figure 4, seuls l'amplificateur de charge 43, le condensateur de contre-réaction 46 et le condensateur d'excitation sont inclus dans une garde totale 42 et alimentés en mode flottant par une unité de conversion continu/continu 100. Tous les autres composants du pont capacitif sont situés à l'extérieur de cette garde 42 et référencés à la terre. Un amplificateur différentiel 48 a une de ses entrées reliée à la sortie de l'amplificateur opérationnel 43 et son autre entrée reliée à la garde totale 42. La sortie de l'amplificateur différentiel 48 est amplifiée dans un amplificateur 44, puis appliquée à un démodulateur 49 en amont d'un intégrateur 41 et d'un modulateur 412. Un oscillateur 45 commande le démodulateur 49 et le modulateur 412 dont la sortie peut être reliée, en fonction des états respectifs d'un premier commutateur 406 et d'un second commutateur 450, soit à la garde totale 42 pour déterminer le potentiel flottant PF, soit en entrée d'un adaptateur différentiel 403 situé dans une partie flottante 47, pour injecter via le condensateur d'excitation 405 un signal d'excitation sur la première entrée de l'amplificateur de charge 43. Ce mode de réalisation présente l'avantage de conduire à une consommation minimale in situ. De plus, s'il est prévu une protection de l'amplificateur opérationnel de charge 43, la tension d'alimentation peut alors être réduite. Cependant, on utilisera de préférence un amplificateur différentiel de faible bruit d'entrée, l'erreur engendrée par le mode commun de l'amplificateur différentiel 48 étant multipliée par le gain de l'amplificateur 44, par comparaison avec le pont capacitif représenté en figure 3.

Les unités d'alimentation continue destinées à l'alimentation en mode flottant des circuits électroniques disposés dans la garde peuvent être réalisées suivant différentes technologies, pourvu qu'elles présentent une

charge électrique entrée-sortie de valeur supérieure à la charge minimale que peuvent supporter les moyens d'excitation, en l'occurrence soit l'oscillateur pour des mesures de capacité, soit le modulateur pour des mesures d'inverse de capacité. On peut ainsi envisager des unités de conversion DC/DC électroniques disponibles par exemple sous la forme de boîtiers DIL, CMS ou autres, des cellules solaires, des piles ou des batteries. On peut également prévoir une alimentation en mode flottant un circuit électronique à capacités commutées, de préférence sous forme intégrée, ou encore une alimentation ($V+$, $V-$ / $+V_{cc}$, $-V_{cc}$) 200 comportant, suivant une structure connue illustrée en figure 5, des selfs de choc L couplées avec des capacités en pont C.

Par ailleurs, afin de diminuer les fuites dues à des effets de ligne en entrée d'un pont capacitif flottant selon l'invention, on peut envisager l'utilisation d'une surgarde de l'électrode de mesure. Ceci a pour effet de diminuer considérablement les fuites en phase et en quadrature dues à la ligne capteur-électronique et à la fréquence de mesure.

On peut également prévoir de réaliser un système de mesure multi-capacitif mettant en oeuvre un multiplexage de différentes voies de mesure, une garde unique étant prévue pour les différentes électrodes de mesure. Ce multiplexage peut être réalisé soit en amont d'un amplificateur de charge unique, soit en aval d'un ensemble d'amplificateurs de charge dédiés chacun à un seul capteur capacitif, Cette deuxième option permettant d'augmenter la vitesse de multiplexage.

Un tel système de mesure multi-capacitif peut avantageusement être réalisé sous la forme d'un circuit hybride associant des composants analogiques et un microcircuit, comme l'illustre le schéma de la figure 6.

Le système de mesure multi-capacitif 60, qui peut également être désigné sous le terme de pont tomographe " C et $1/C$ ", comprend ainsi:

- 13 -

- un circuit multiplexeur 70 comportant à titre d'exemple non limitatif 32 entrées de mesure reliées à autant d'électrodes de mesure (non représentées), une entrée BC de bus de commande, et une entrée EPM de
5 porteuse pour ce multiplexeur;

- un amplificateur de charge A1 dont l'entrée inverseuse est connectée à la sortie du circuit multiplexeur 70, l'entrée non inverseuse étant reliée à la masse;

10 - une alimentation DC/DC 100 pour fournir des alimentations flottantes, et

- un microcontrôleur 80 pour commander les différents composants du système et pour traiter les signaux analogiques mesurés.

15 On peut en outre prévoir une alimentation flottante générée par un convertisseur DC/DC placé à l'extérieur du circuit hybride 60 qui comporte alors trois entrées prévues à cet effet.

Le microcontrôleur 80 intègre une unité de contrôle et
20 de traitement 86, une mémoire 81 de type EEPROM, une mémoire vive 82 de type RAM, un convertisseur analogique/numérique 83 présentant une résolution de 12 bits, une horloge 84, un diviseur 85, et un circuit de liaison série (qui peut être optionnel). L'unité de
25 contrôle et de traitement 85 (CPU) génère des commandes transmises sur un bus interne de commande BC au circuit multiplexeur 70, et un signal de commande des commutateurs S1, S2, S3 qui ont respectivement les fonctions suivantes: démodulation, modulation et oscillateur.

30 Un module d'alimentation DC/DC 100 fournit, à partie d'une source de tension externe +5V, des alimentations flottantes +5V et -5V à usage interne au sein du circuit hybride 60.

Le circuit hybride ou pont mixte 60 comporte plusieurs
35 sorties, notamment des sorties analogiques: une sortie TEST (test en sortie des amplificateurs), une sortie analogique SA, une sortie de tension de référence Vref, une sortie de modulateur MOD et une sortie inversée MOD,

et une sortie numérique du circuit de liaison série 87. Il comporte plusieurs entrées, notamment des entrées analogiques (par exemple au nombre de 32), une entrée EPM de porteuse du multiplexeur, et deux broches Cext pour
5 connecter un condensateur extérieur. Le circuit hybride 60 comporte également un amplificateur monté en suiveur SUI, un sonde de température 71, un circuit 73 pour générer une tension de référence Vref et une broche Cref de connexion à un condensateur de référence pour l'amplificateur de
10 charge.

Le convertisseur analogique/numérique 83 au sein du circuit numérique 80 reçoit en entrée via un multiplexeur 88 soit un signal analogique issu de la chaîne de traitement analogique en aval de l'amplificateur de charge
15 A1, soit un signal analogique émis par la sonde de température 71, et la tension de référence Vref. Les commutateurs internes S1, S2 et S3 respectivement démodulateur, modulateur et oscillateur, sont commandés par le circuit diviseur 85.

20 La sortie du multiplexeur de tête 70 ainsi que le condensateur C2 est entouré par une garde 74 reliée à la masse. Les composants analogiques et numériques du pont mixte 60 sont alimentés en mode flottant grâce à l'alimentation DC/DC 100.

25 Le pont mixte 60 peut être indifféremment utilisé en mode "C" ou en mode "1/C". En mode "C", le suiveur est alimenté par l'oscillateur, tandis qu'en mode "1/C", il est alimenté par le modulateur, par des câblages (non représentés) extérieurs au circuit hybride.

30 Le pont mixte 60 fonctionne en démodulateur synchrone. L'amplitude de la porteuse est d'environ 5 Vpp ou le double en utilisant deux diodes Zener. La fréquence peut être comprise entre 4 kHz et 20 kHz, avec une bande passante de 1 kHz pour une voie. Le bruit (crête à crête)
35 correspond à 10^{-5} pF à une fréquence de 1 kHz.

En fonctionnement en mode flottant, l'isolement galvanique de la liaison série peut être assurée au moyen d'optocoupleurs.

Le circuit hybride qui vient d'être décrit peut être avantageusement réalisé en mettant en oeuvre la technologie SOI (silicium sur isolant).

Bien sûr, l'invention n'est pas limitée aux exemples
5 qui viennent d'être décrits et de nombreux aménagements
peuvent être apportés à ces exemples sans sortir du cadre
de l'invention. Ainsi, les électrodes des capteurs
capacitifs peuvent présenter des formes et structures
quelconques. Par ailleurs, les composants électroniques
10 mis en oeuvre dans la chaîne de traitement peuvent être
choisis sans autre limitation que des considérations
usuelles de précision et de coût.

REVENDICATIONS

1. Pont de mesure capacitif flottant (10, 20, 30, 40) comprenant :

- 5 - un capteur capacitif (C) comportant une électrode de mesure (15), une électrode de garde (17) entourant ladite électrode de mesure (15), et une électrode de terre (16),
 - 10 - un amplificateur de charge (3, 23, 33, 43) ayant une première entrée (-) reliée à l'électrode de mesure (15) et une seconde entrée (+) reliée à l'électrode de garde (17), et comportant un condensateur de contre-réaction (6, 26, 36, 46) disposé entre sa première entrée (-) et sa sortie,
 - 15 - des moyens (4, 24, 34, 44; 9, 29, 39, 49; 11, 21, 31, 41) pour traiter le signal de sortie de l'amplificateur de charge (3, 23, 33, 43), en vue de délivrer un signal de mesure capacitive par rapport à une référence de terre, et
 - 20 - des moyens (100) pour alimenter ledit amplificateur de charge (3, 23, 33, 43) par rapport au potentiel flottant (PF) de l'électrode de garde (17),
- caractérisé en ce que l'amplificateur de charge (3, 23, 33, 43) comporte en outre un condensateur d'excitation (7, 205, 305, 405) relié d'une part à la première entrée (-) et
- 25 d'autre part à des moyens d'excitation (5, 8, 13; 25, 206, 250, 203, 204; 35, 306, 350, 303; 45, 450, 406, 403) pour produire un signal d'excitation à une fréquence prédéterminée, et en ce que ledit amplificateur de charge (3, 23, 33, 43) et les condensateurs de contre-réaction (6,
- 30 26, 36, 46) et d'excitation (7, 205, 305, 405) sont inclus dans une garde totale (2, 22, 32, 42) reliée à l'électrode de garde (17).

2. Pont flottant (10, 20, 30, 40) selon la revendication 1, dont les moyens de traitement

35 comprennent :

- des moyens (4, 24, 34, 44) pour amplifier le signal de sortie de l'amplificateur de charge (3, 23, 33, 43),

- 17 -

- des moyens (9, 29, 39, 49) pour démoduler le signal de sortie amplifié en synchronisme avec les moyens d'excitation (5, 25, 35, 45),
- et des moyens (11, 21, 31, 41) pour intégrer le signal démodulé en vue de délivrer un signal de mesure (V_s),

caractérisé en ce que ces moyens de traitement comprennent en outre des moyens d'amplification différentielle (14, 28, 38, 48) insérés en un point quelconque de la chaîne de traitement, et ayant d'une part, leur entrée référencée au potentiel flottant (PF), et d'autre part, leur sortie référencée à la terre.

3. Pont flottant (10, 20, 30, 40) selon la revendication 2, dont les moyens de traitement comprennent en outre, en aval des moyens intégrateurs (11, 21, 31, 41), des moyens (12, 212, 312, 412) pour moduler le signal intégré en synchronisme avec les moyens d'excitation, caractérisé en ce que ces moyens d'excitation comprennent :

- des moyens oscillateurs (5, 25, 35, 45) pour délivrer une tension d'oscillation à une fréquence prédéterminée,
- des premiers moyens commutateurs (8, 206, 306, 406) pour appliquer sur l'électrode de mesure (15) via le condensateur d'excitation (7, 205, 305, 405), soit une tension de modulation issue des moyens modulateurs synchrones (12, 212, 312, 412), soit la tension d'oscillation issue des moyens oscillateurs (5, 25, 35, 45), et
- des seconds moyens commutateurs (8, 206, 306, 406) pour appliquer sur la garde (2, 22, 32, 42), soit la tension d'oscillation, soit la tension de modulation;

Les premiers (8, 206, 306, 406) et seconds (8, 206, 306, 406) moyens commutateurs coopérant pour procurer l'une ou l'autre des mesures suivantes :

- une mesure représentative de l'inverse d'une capacité, lorsque le potentiel flottant (PF) est à la tension de modulation, et
- une mesure représentative d'une capacité, lorsque le
5 potentiel flottant (PF) est à la tension d'oscillation.

4. Pont flottant (10) selon la revendication 3, caractérisé en ce que les moyens oscillateurs (5) et les moyens de traitement (4, 9, 11, 12) sont référencés au
10 potentiel flottant (PF) et sont alimentés par les moyens d'alimentation flottante (100).

5. Pont flottant (10) selon la revendication 4, caractérisé en ce que les moyens d'amplification différentielle (14) sont disposés en aval des moyens
15 d'intégration (11) et délivrent en sortie le signal de mesure capacitive (Vs).

6. Pont flottant (20) selon la revendication 3, caractérisé en ce que les moyens amplificateurs (24) et les moyens démodulateurs synchrones (29) sont référencés
20 au potentiel flottant (PF), les moyens oscillateurs (25), les moyens intégrateurs (21) et les moyens modulateurs (212) sont référencés à la terre, et en ce que les moyens d'amplification différentielle (28) sont disposés entre la sortie des moyens démodulateurs (29) et l'entrée des
25 moyens intégrateurs (21).

7. Pont flottant (20) selon la revendication 6, caractérisé en ce que les moyens d'excitation comprennent en outre des premiers moyens d'adaptation différentielle (204) disposés entre d'une part la sortie des moyens
30 oscillateurs (25) et d'autre part une entrée de commande des moyens démodulateurs (29) et un premier pôle d'entrée des premiers moyens commutateurs (206), et des seconds moyens d'adaptation différentielle (203) disposés entre la sortie des moyens modulateurs (212) et un second pôle
35 d'entrée desdits premiers moyens commutateurs (206).

8. Pont flottant (30) selon la revendication 3, caractérisé en ce que les moyens amplificateurs (34) sont référencés au potentiel flottant (PF) et sont alimentés

par les moyens d'alimentation flottante (100), et en ce que les moyens d'amplification différentielle (38) sont disposés entre la sortie des moyens amplificateurs (34) et l'entrée des moyens démodulateurs (39).

5 9. Pont flottant (40) selon la revendication 3, caractérisé en ce que les moyens d'amplification différentielle (48) sont disposés en sortie de l'amplificateur de charge (48).

10 10. Pont flottant (30, 40) selon l'une des revendications 8 ou 9, caractérisé en ce que les moyens d'excitation comprennent en outre des moyens d'adaptation différentielle (303, 403) disposés entre la sortie des premiers moyens commutateurs (306, 406) et le condensateur d'excitation (305, 405).

15 11. Pont flottant (10, 20, 30, 40) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que les moyens d'alimentation flottante (100) comprennent des selfs de choc.

20 12. Pont flottant (10, 20, 30, 40) selon l'une des revendications 1 à 10, caractérisé en ce que les moyens d'alimentation flottante (100) comprennent des capacités commutées.

25 13. Pont flottant (10, 20, 30, 40) selon l'une des revendications 1 à 10, caractérisé en ce que les moyens d'alimentation flottante (100) comprennent des unités de conversion DC/DC électroniques.

30 14. Pont flottant (10, 20, 30, 40) selon l'une des revendications 1 à 10, caractérisé en ce que les moyens d'alimentation flottante (100) comprennent des piles, batteries, ou cellules solaires.

35 15. Système de mesure multi-capacitif réalisé à partir d'un ensemble de ponts flottants selon l'une des revendications précédentes, comprenant un ensemble de capteurs capacitifs associés à un ensemble d'amplificateurs de charge, caractérisé en ce qu'il comprend en outre une chaîne de traitement unique et des moyens multiplexeurs ayant leurs entrées multiples reliées

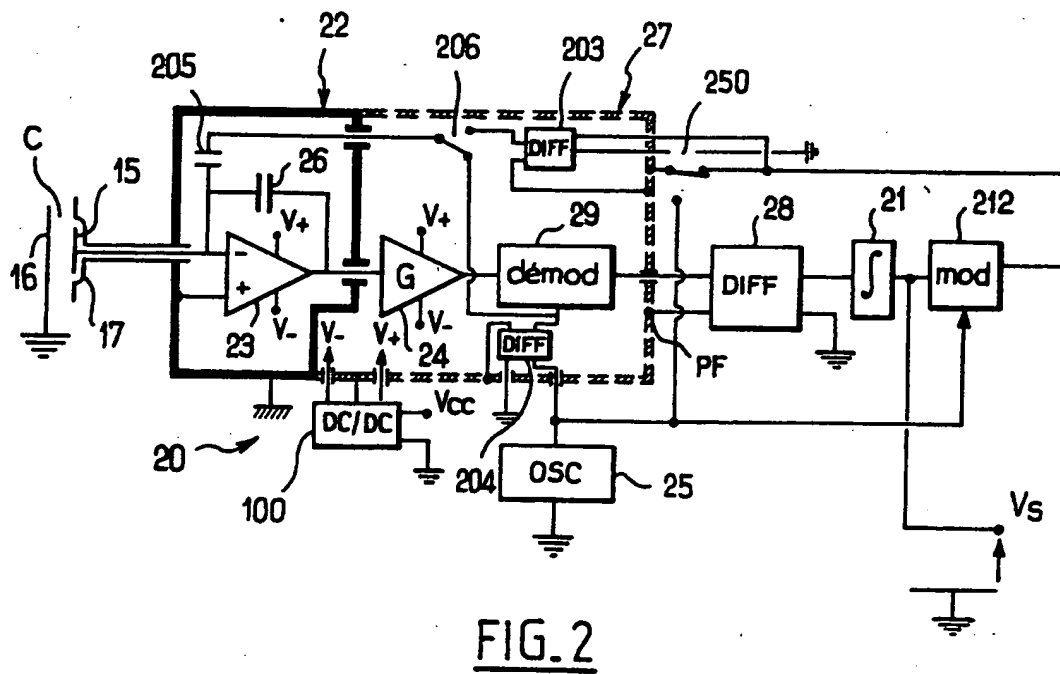
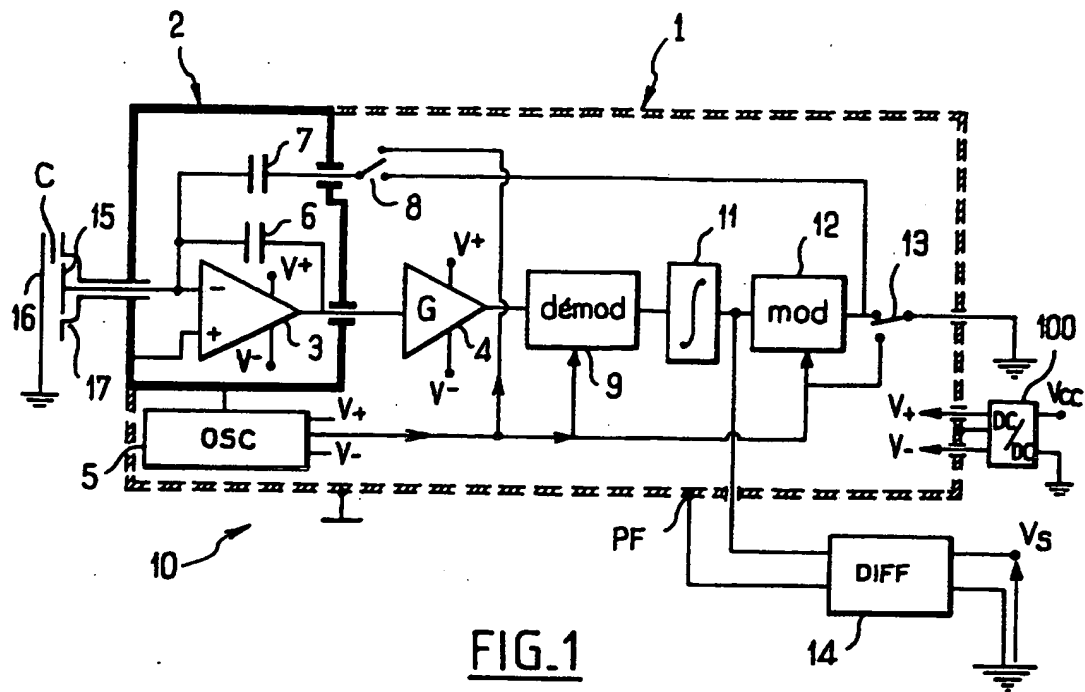
en sortie desdits amplificateurs de charge et leur sortie reliée en entrée de ladite chaîne de traitement.

16. Système de mesure multi-capacitif réalisé à partir d'un pont flottant selon l'une des revendications 1 à 14, 5 comprenant un ensemble de capteurs capacitifs, caractérisé en ce qu'il comprend en outre un unique amplificateur de charge et sa chaîne de traitement associée, et des moyens multiplexeurs ayant leurs entrées multiples reliées en sortie desdits capteurs capacitifs et leur sortie reliée 10 en entrée dudit amplificateur de charge, les électrodes respectives desdits capteurs capacitifs étant entourées d'une électrode de garde commune.

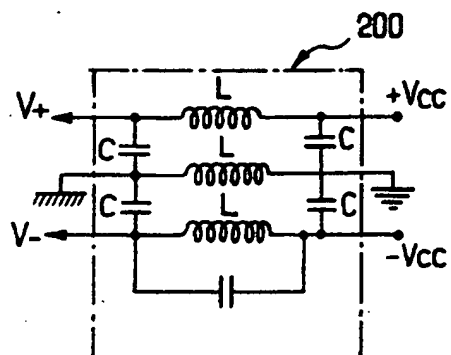
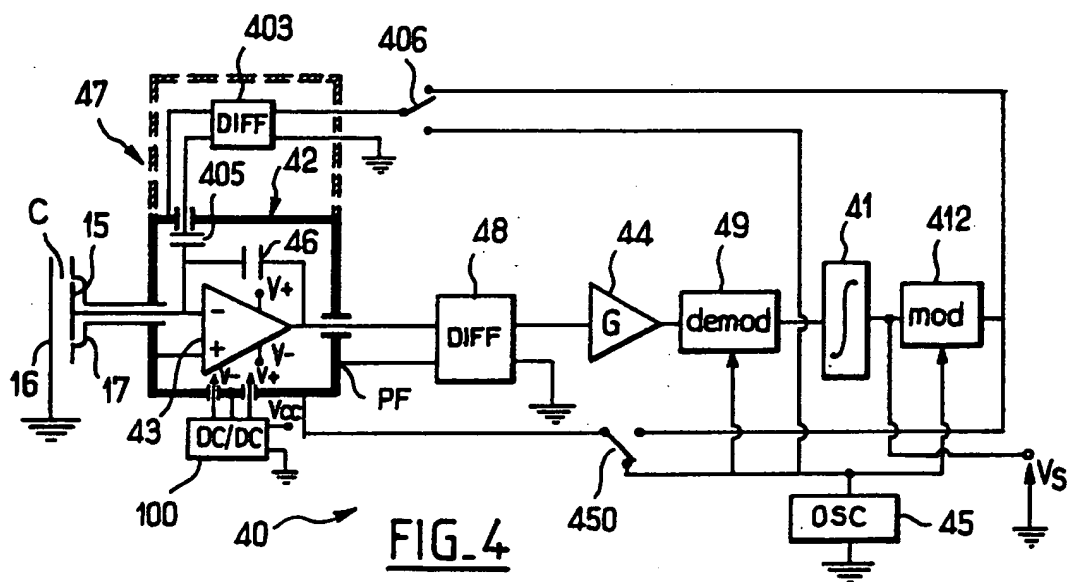
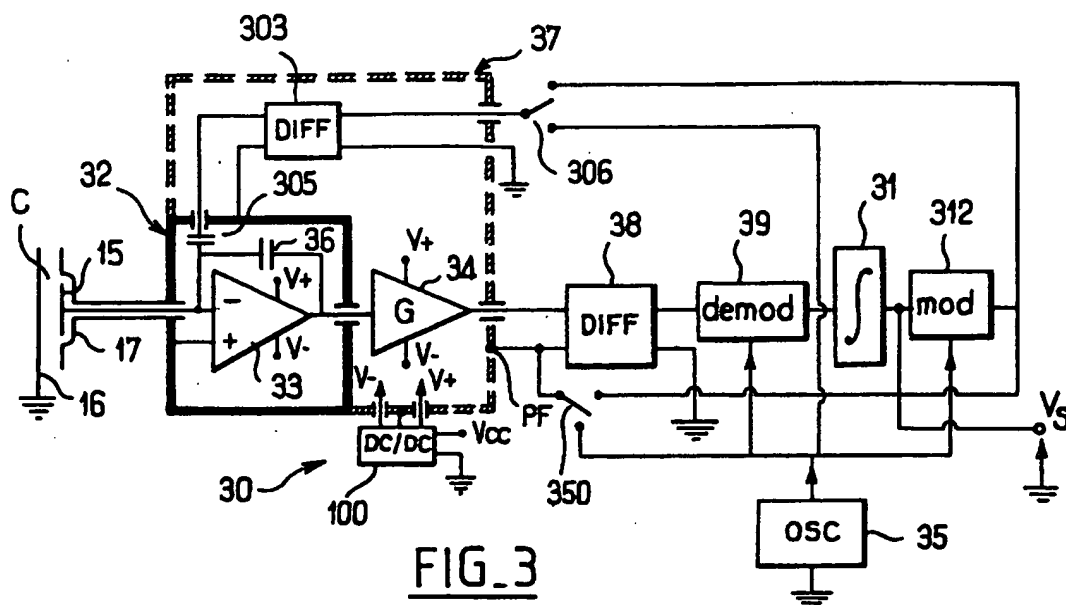
17. Système de mesure multi-capacitif selon la revendication 16, caractérisé en ce qu'il comprend en 15 outre des moyens numériques de contrôle et de traitement programmés pour commander ledit système et pour fournir des données de mesure capacitive sous forme numérisée.

18. Système selon la revendication 17, caractérisé en ce que ses composants analogiques et numériques sont 20 réalisés au sein d'un unique circuit hybride.

1 / 3



2 / 3



3 / 3

FIG. 6

